低線量被ばくによる生物発光現象への影響に関する研究

理工学部　　物理学科

学籍番号　10861057

氏名　　　吉田枝里子

目次

１：背景と目的

本研究は低線量被ばくが生命活動に与える影響を調べるために、生物発光現象を使い測定を行うことを目的としている。
2011 年 3 月 11 日に東北で地震が起こり、それを端緒として東京電力福島第一原子力発電所が爆発する事故があった。東京電力福島第一原子力発電所の爆発事故により Cs がばら撒かれたが、今はただちに影響はないと言われている。現在、避難指示の基準となっているのは年間 20[mSv]という低線量である。疫学調査の結果からは、被ばく線量が 100[mSv]を超えるあたりから、被ばく線量に依存して発がんのリスクが増加すると示されているが、100[mSv]以下の被ばく線量では他の要因による発がんの影響によって隠れていまい、放射線による発がんリスクの増加は確認されていない。
低線量被ばくの影響を実験室で確認できないか、そこで生物発光(バイオフォトン)現象に注目した。生物は生命活動によって微弱な光を放出し、その光を生物発光(バイオフォトン)と呼ぶ。低線量被ばくにより生命活動になにか影響があれば、生物発光にも影響がでると考え研究を開始した。

２：バイオフォトンとは？

バイオフォトンとは生物発光のうち、非常に強度が小さい場合や、そのとき放出される光子のことを指す。一般的に生物発光と言えば、肉眼で観測できる蛍や夜光虫などが知られているが、その強度はフォトンとして観測される場合より数桁も大きく、バイオフォトンとは呼べない。現在バイオフォトンと呼べるのは、生化学反応、特に細胞呼吸などの生体内の酸化還元反応に付随して生じる活性酸素種などのラジカル類からの化学発光である。
バイオフォトンは生物フォトン、生物光子、極微弱生物発光、極微弱生態発光、極微弱生化学発光などと呼ばれることもある。
図１は、バイオフォトンの発光強度レベルを目で見ることのできる光のレベルと比較して表したものである。

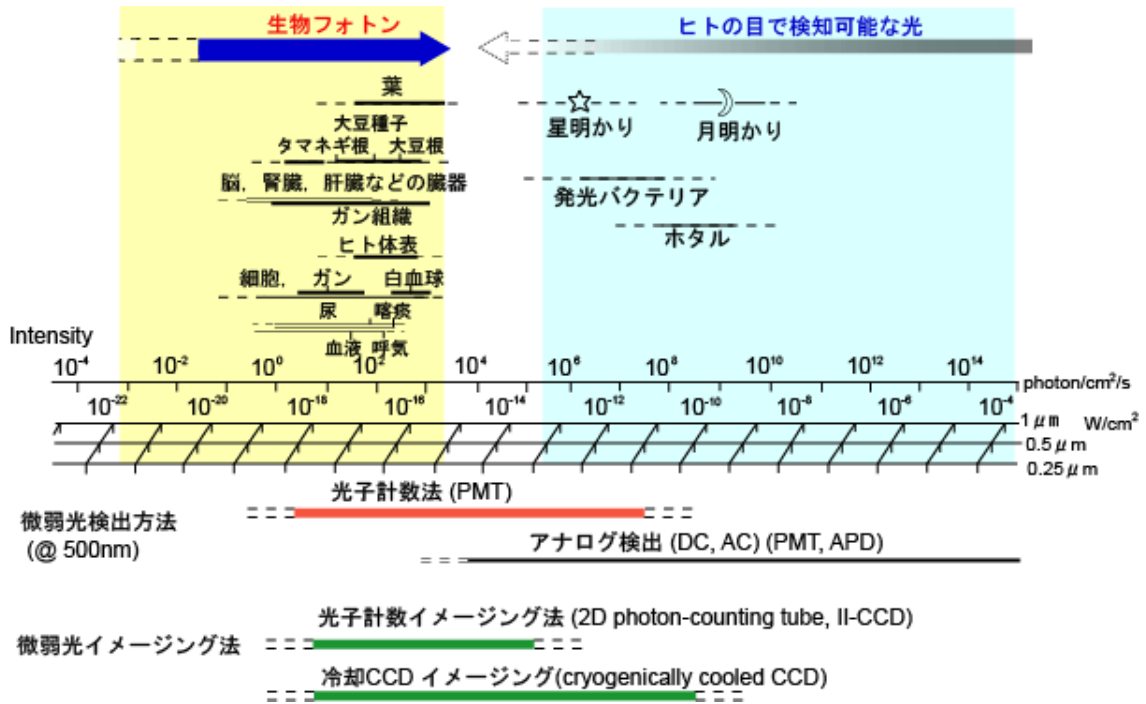



図１：発光強度レベル

３：実験方法

～使用した実験装置～

本実験では以下の装置を実験に使用した。

- 光電子増倍管
- 電子式冷却器
- オシロスコープ
- ＡＭＰ
- ディスクリミネーター
- スケーラ
- クレートコントローラー
- GM 管

① 光電子増倍管(PMT)

光電子増倍管は一般的にガラス管に封じられた真空管で、入射窓、光電面、電子増倍部より構成されている。光電子増倍管に入射した光はガラス窓を透過すると、光電面内の電子を励起し、真空中に光電子を放出します。光電子は集束（フォーカス）電極で第一

ダイノード上に収束され、二次電子増倍された後、引き続く各ダイノードで二次電子放出を繰り返す。最終ダイノードより放出された二次電子群は陽極（アノード）より取り出される。本研究で高圧電源から光電子増倍管にかけた電圧は-900[V]である。

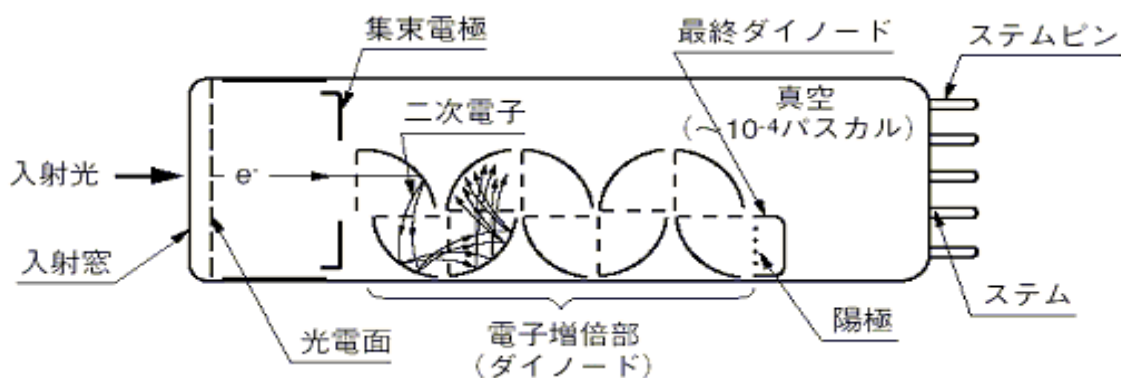



図２：光電子増倍管

② 電子式冷却器

電子式冷却器は光電子増倍管の光電面から放出される熱電子の低減とともに、静電及び磁気シールドの内蔵により周囲環境からの影響を極力抑える。本研究では、冷却温度を約-10[℃]に設定している。

図３：浜松ホトニクス社製　電子式冷却器

③ オシロスコープ

オシロスコープは、電気信号の形（波形）を表示するための計測器である。本研究では、光電子増倍管からの信号を1chに、ディスクリミネーターからの信号を2chに表示するようにした。

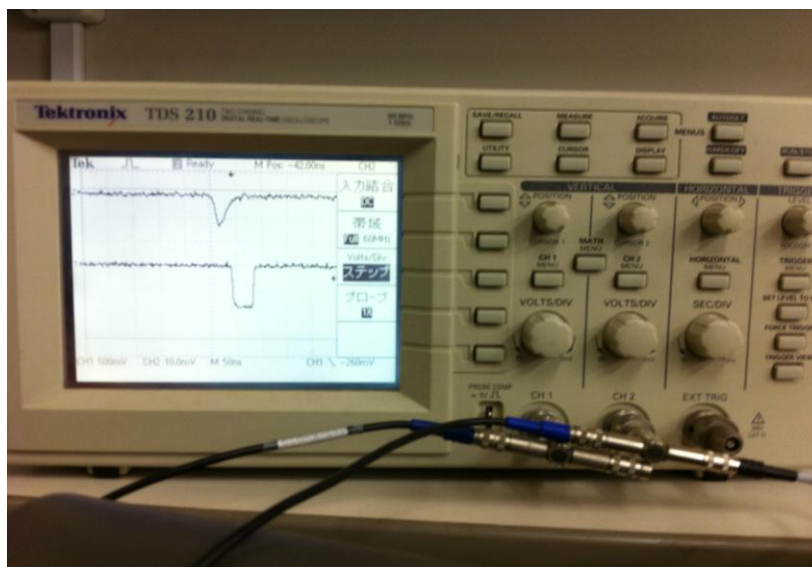



図４：オシロスコープ

④ ＡＭＰ

ＡＭＰは光電子増倍管からの検出器信号が十分な振幅である場合、その出力をディスクリミネーターに直接接続することで時間情報を得ることができ、時間分解能に対するノイズの影響を最小に抑えることができる。光電子増倍管からの検出器信号が不十分な振幅である場合は、時間情報を取り出す前に検出器信号を増幅または整形することもできる。

⑤ ディスクリミネーター・スケーラ

ディスクリミネーターは、しきい値を超えるアナログ入力パルスを出力で標準ロジックパルスに変換する。これらのロジックパルスはスケーラで計測することができる。

⑥ クレートコントローラー

コンピュータとの通信およびディスクリミネーターなどのモジュールの制御を行う。

⑦ GM 管

電荷をもった放射線が GM 管内のガスの中を通ると、ガスの分子をイオン化して正イオンと電子を作る。両極の間に高電圧がかけられてあるため、電子は細い陽極近くで強く加速され、中性の分子と衝突し、次々に新しいプラスイオンと電子を作り、中心線近くの強い電界で急激に多くの電子が増殖する。このため管内には多数のイオンと電子が発生し電導性のガス(プラズマ)で満たされる。多数の電子が陰極と陽極との間を移動し電流が流れる。この結果中心線のプラス電位が下がり、その電位の変化が電気信号となってコンデンサーを通って増幅器等計数回路に送られ計数される。

組んだ装置図が図５である。

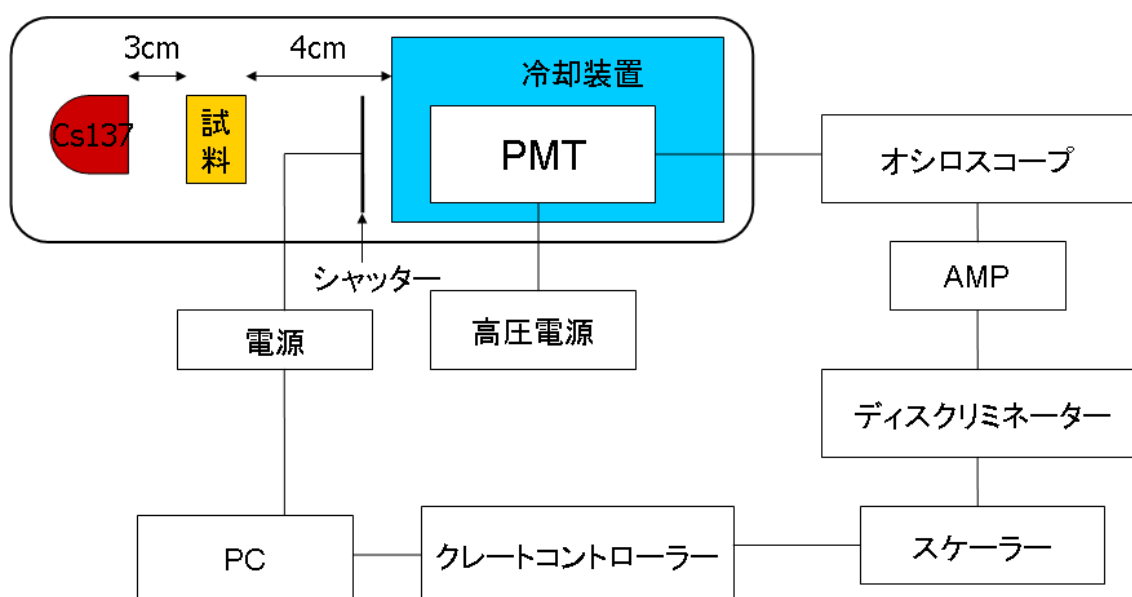



図５ ：実験装置図

暗箱に試料、シャッター、冷却装置、光電子増倍管を設置する。シャッターは１分ごとに自動開閉する。暗箱には外からの光が入らないようにするために、暗幕を被せ遮断した。

試料から放出された光は、光電子増倍管で増幅する。増幅された信号はオシロスコープを通り AMP でさらに信号を増幅、そしてノイズの影響を最小に抑える。ディスクリミネーターでは、しきい値を超えるアナログ入力パルスを出力で標準ロジックパルスに変換し、そのパルスをスケーラで計測する。計測したものをクレートコントローラーで PC に送り記録する。以上の流れよりバイオフォトンを検出する。

～実験方法～

① 装置が光電子を検出出来るか確認をするために、試料に蛍光物質を置いて計測する。

② 様々な試料を用いてバイオフォトンを検出する。
今回は、マッシュルーム、ニンジン、えのき、キュウリを試料とした。
光が入らない場所でも育つキノコ類を主に使用した。キュウリは、1 年中手に入り、セットもしやすく、明るい光を出すという点から試料に選んだ。

③ Cs137 のみを試料に置き、光電子が出ないことを確認する。

④ 試料と Cs137 を一緒にセットし、バイオフォトンを検出し Cs137 の影響をみる。

次に Cs137 の等価線量を求めるのに必要な値を計測する。

⑦ 試料の重さを測る。

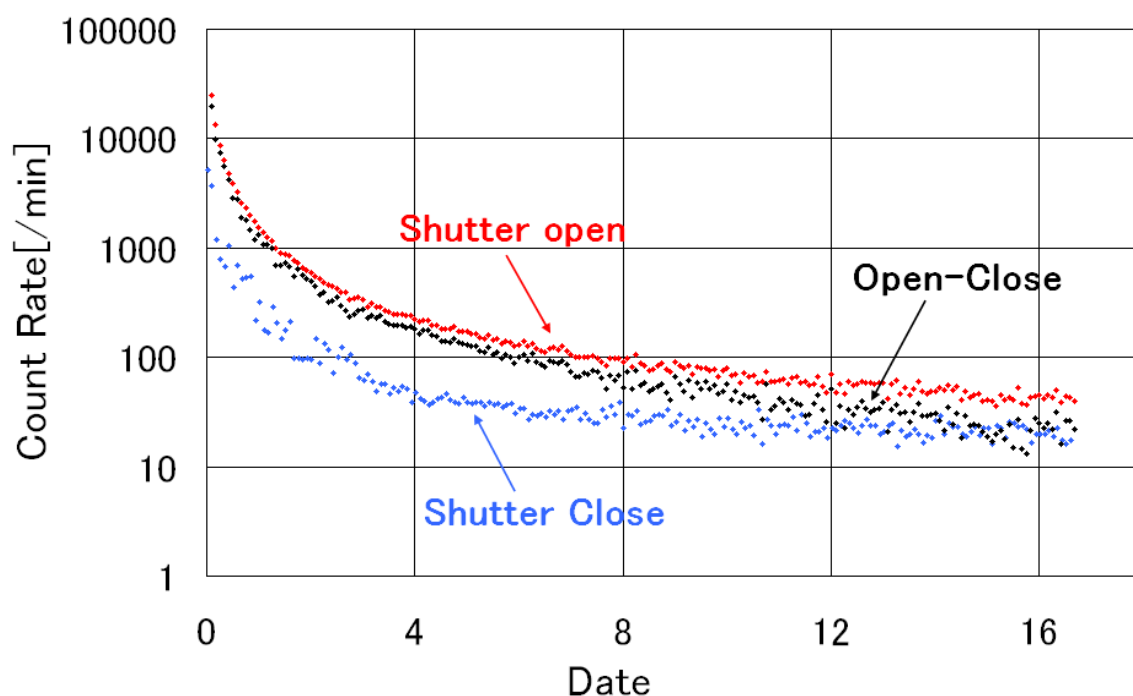
⑧ GM 管の窓から距離 1(30[mm]、40[mm]、60[mm]、80[mm]、100[mm]、120[mm])にあるスタンドの棚板に Cs137 をおき、1 分間その計数値を測る。

⑧ GM 管の窓から 60[mm]のところに Cs137 をおき、試料を直接重ね、計数値を測る。1 分間を 3 回行う。

４：測定結果

4.1　蛍光物質の計測

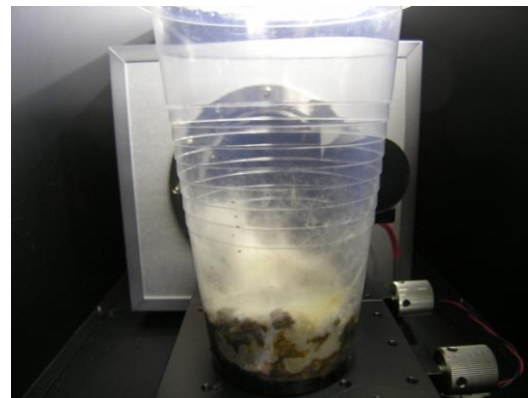
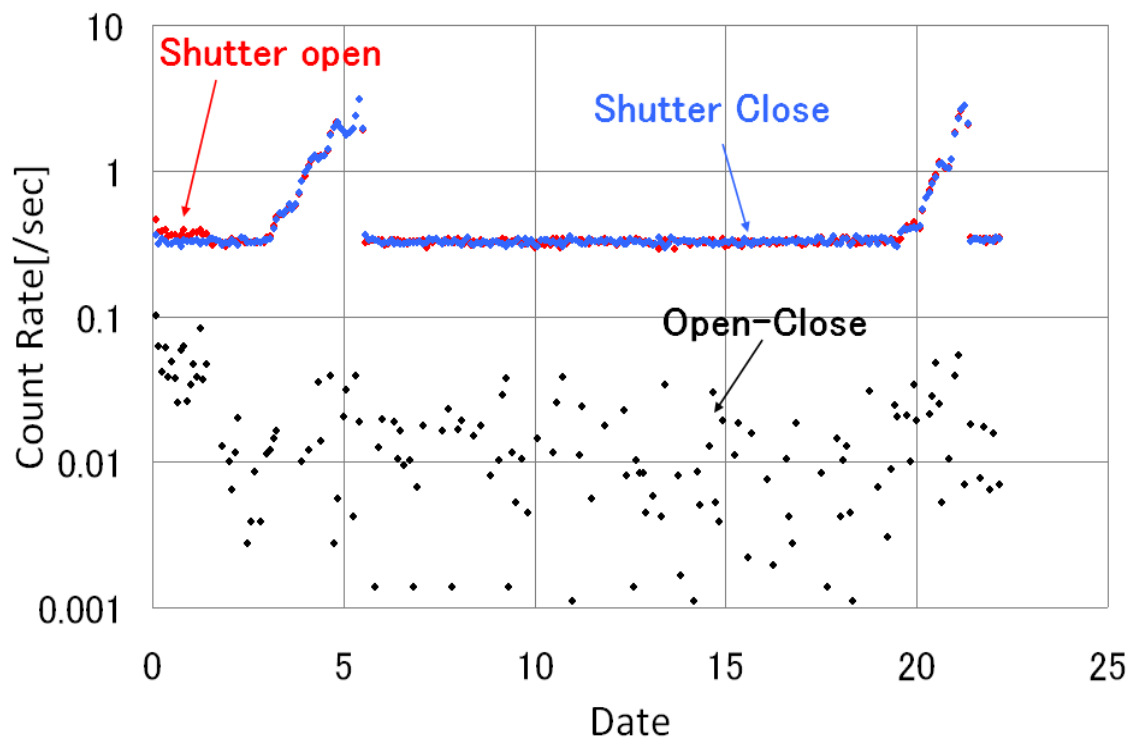
蛍光物質を約 17 日間測定した。研究に使用した蛍光物質は、最初は光を放っているが暗いところに放置しておくと光を失っていくものを使用している。
測定結果がグラフ 1 であり、1 分ごとに計測したものを 5 分平均にしてプロットした。

※これから出てくるグラフは全て縦軸が対数の片対数グラフになっている。

グラフ 1：蛍光物質

赤色の点が open でシャッターを開いたときのデータであり、青色の点が close でシャッターを閉じたときのデータである。黒の点が open と close の差分であり、これが試料からでている光電子数になる。

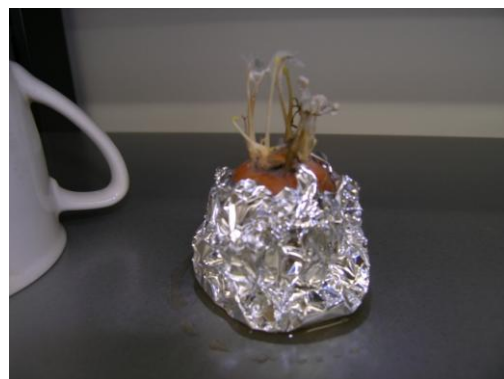
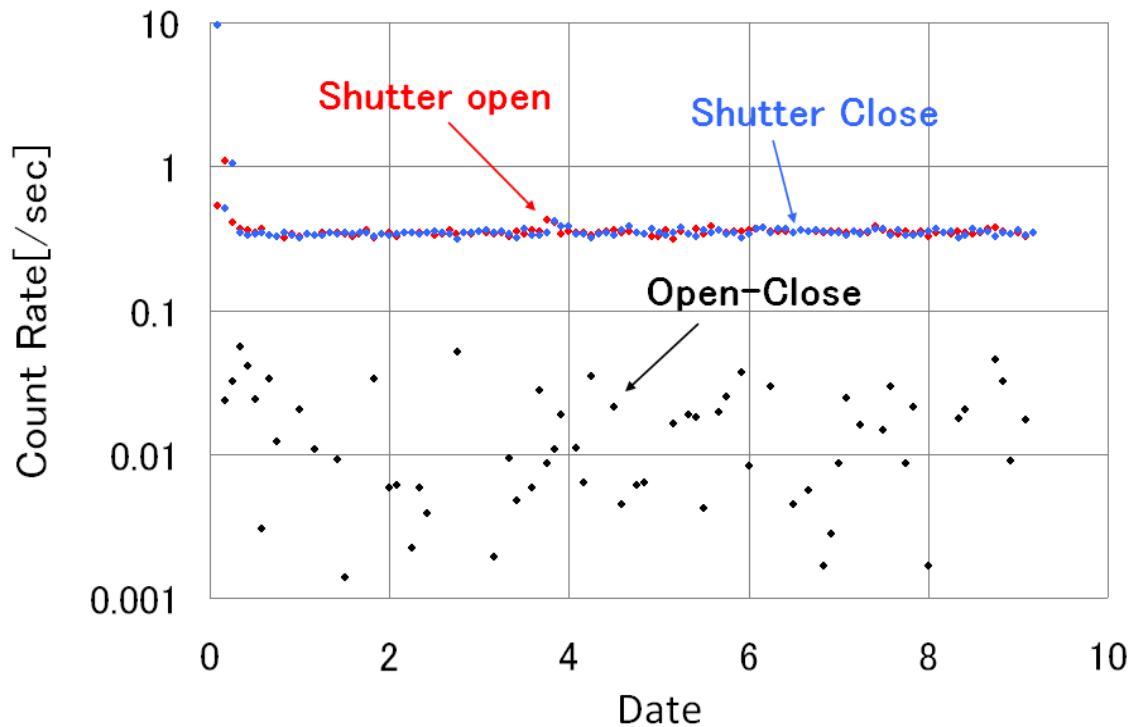
グラフ 1 より、日が経つにつれ蛍光物質から光電子が放出される量が減少していることが分かる。よって、装置で光電子を検出出来ることが確認できた。

4.2　マッシュルームの計測

マッシュルームは栽培セットを使い育成した。ポリスチレンの容器に培地をいれ、その上に赤玉土を乗せ、水をあげたら準備完了。暗箱に入れる試料用と成長の様子を確認するための室内用の 2 つを作り、23 日間計測をした。

測定結果がグラフ 2 であり、2 時間平均でプロットした。

グラフ２：マッシュルーム

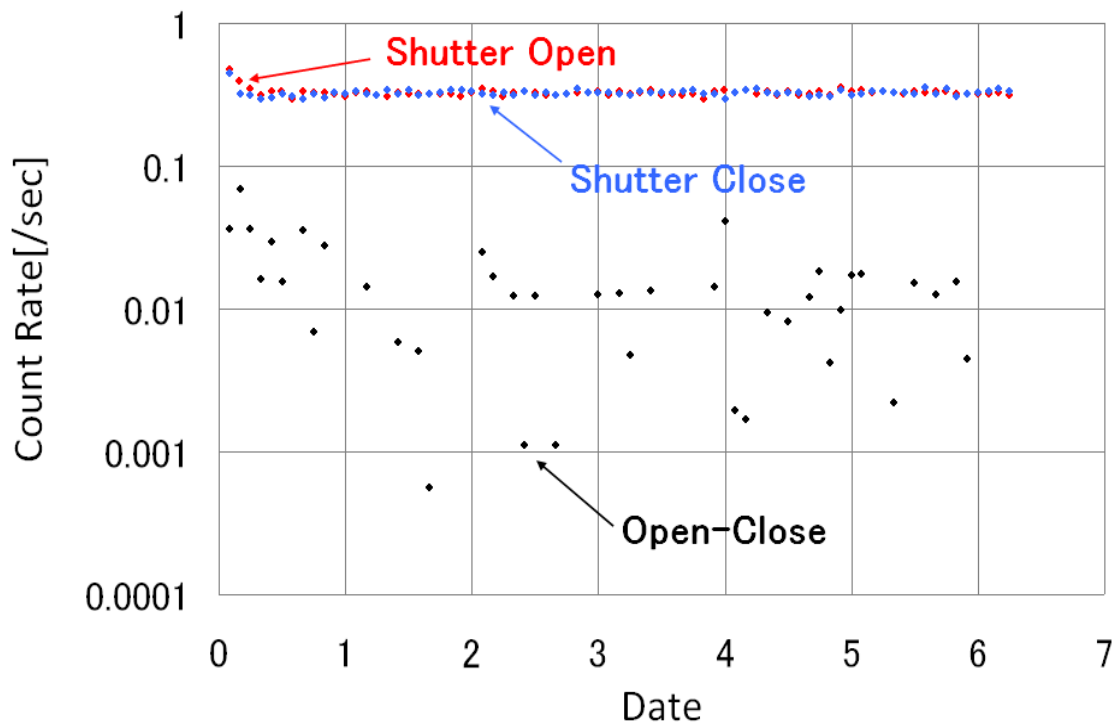
4 日と 20 日を過ぎあたりは光電子の数が増えている。これは、冷却装置が正常に稼働しておらず、光電子増倍管のノイズが増えたためである。
バイオフォトンを検出することは出来なかったが、1 秒間に約 0.05 個以下の光電子のレベルまで検出することが出来た。

4.3　ニンジンの計測

ニンジンを上から 5[cm]のところで切る。アルミホイルの上に濡れたキムワイプを敷き、その上に切った断面がキムワイプに接地するようにニンジンを乗せアルミホイルで包む。暗箱に入れる試料用と成長の様子を確認するための室内用の 2 つを作り、9 日間計測をした。

測定結果がグラフ 3 であり、2 時間平均してプロットした。

グラフ３：ニンジン

測定開始のころに光電子が検出されているが、冷却装置の稼働に時間がかかり光電子増倍管のノイズが入ったためである。9 日間、室内で育てていたニンジンは芽が出ていたが、暗箱の中のニンジンは芽を出しながら腐り、生命活動が停止していた。1 分間に 3 個の信号を確認することは出来たが、芽が腐っていたことからバイオフォトンではないと考える。

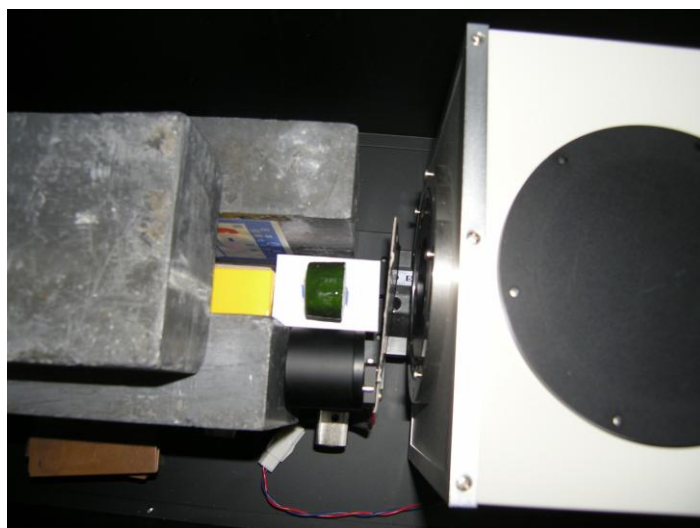
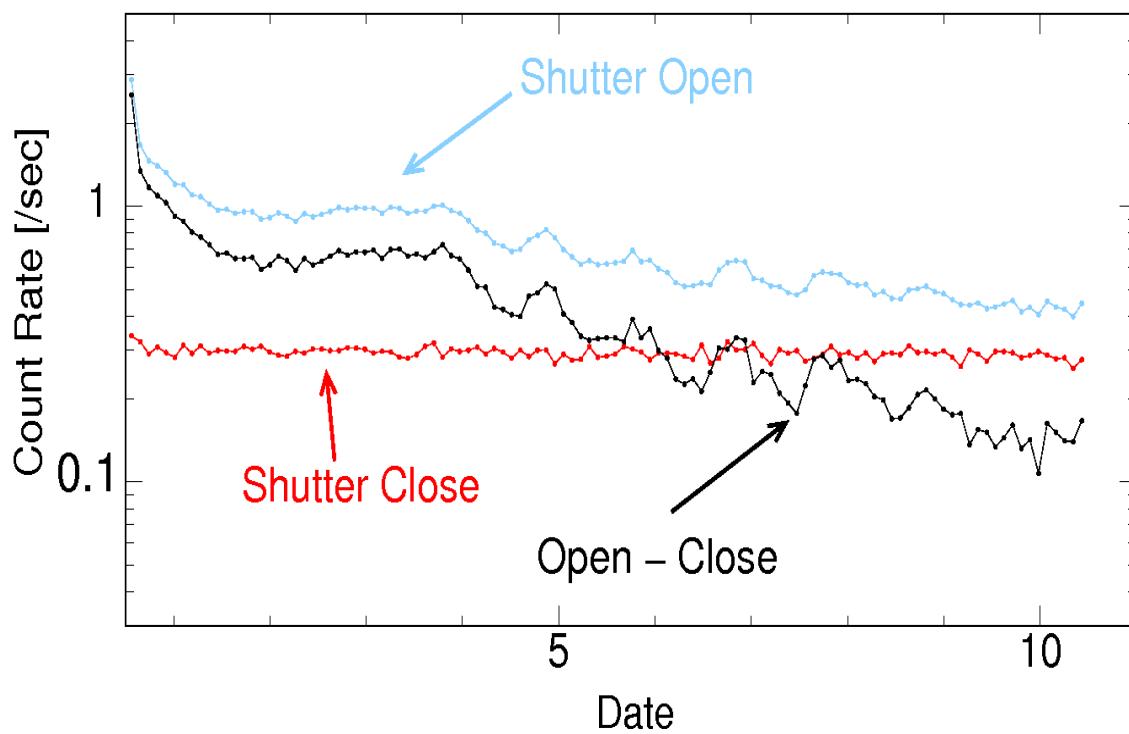
4.4　えのきの計測

買ってきたえのきを下から 3[cm]のところで切る。ペットボトルに水を浸したスポンジを入れ、その上に切ったえのきの下の部分を乗せる。暗箱に入れる試料用と成長の様子を確認するための室内用の 2 つを作り、6 日間計測をした。測定結果がグラフ 4 であり、2 時間平均してプロットした。

グラフ４：えのき

測定終了後、室内に置いていたと、暗箱に置いた両方のえのきは成長せず腐っていった。
1 秒間に 0.05 個以下の信号しか確認できず、バイオフォトン検出には至らなかった。

マッシュルーム、ニンジン、えのきと計測してきたが、暗箱で光も当たらず、水も与えることができない環境なので、どれも腐ってしまう。環境が整っていないなかで成長を見ながら計測することは難しく、試料にはむいていないと言える。

4.5　キュウリの計測

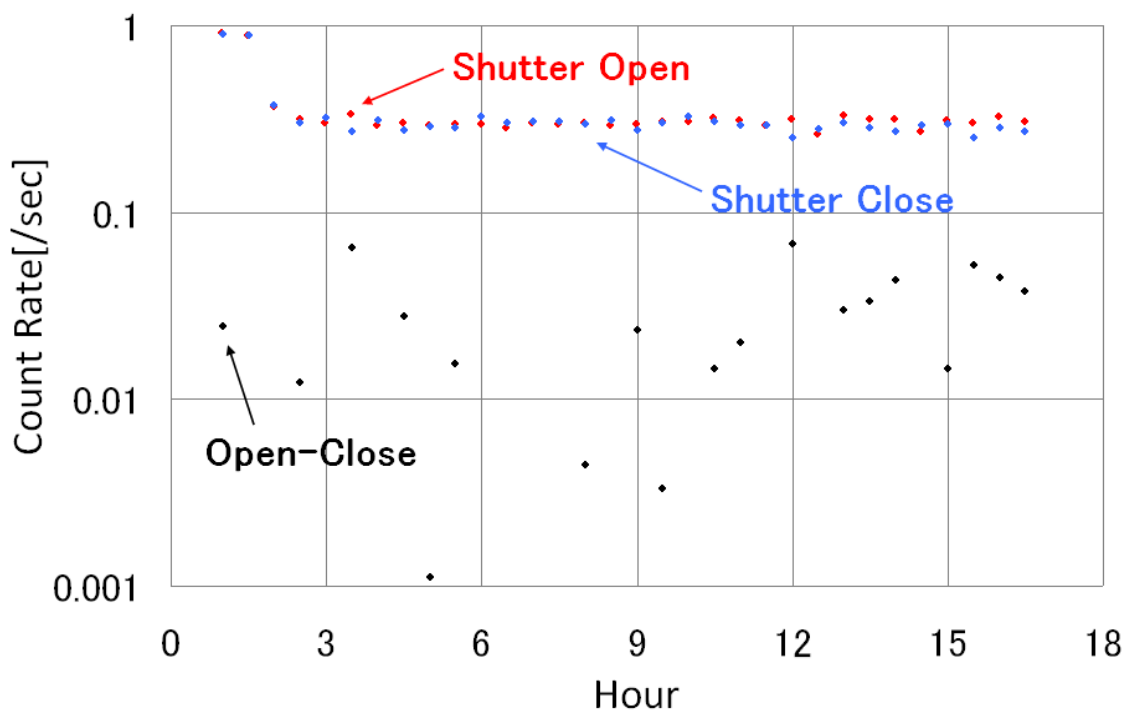
キュウリを 2[cm]の厚さに切り、光電子増倍管から 4[cm]離れたところにセットし、10 日間計測した。

測定結果がグラフ５であり、２時間平均してプロットした。

グラフ５：キュウリ(Cs137 なし)

光電子数の減少の様子が蛍光物質のときとは違う。蛍光物質のときは、光電子数がなだらかに減少していたが、キュウリは日が経つにつれ、減ることもあれば増えることもあり、

減少にばらつきがある。したがって、キュウリの断面からバイオフォトンを検出することが出来たと考えられる。

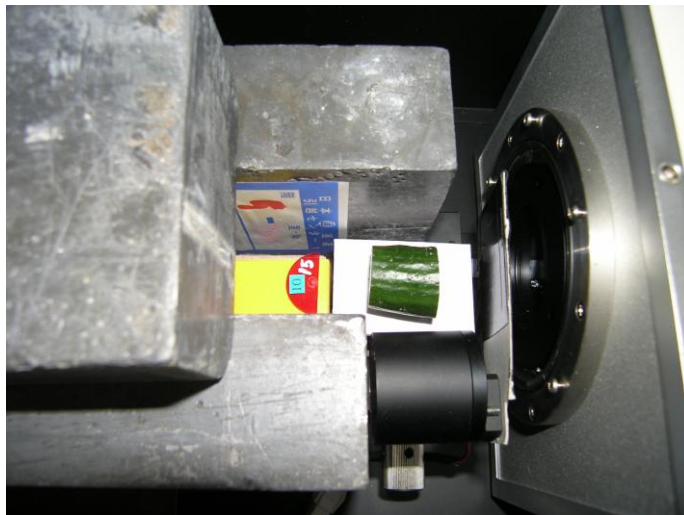
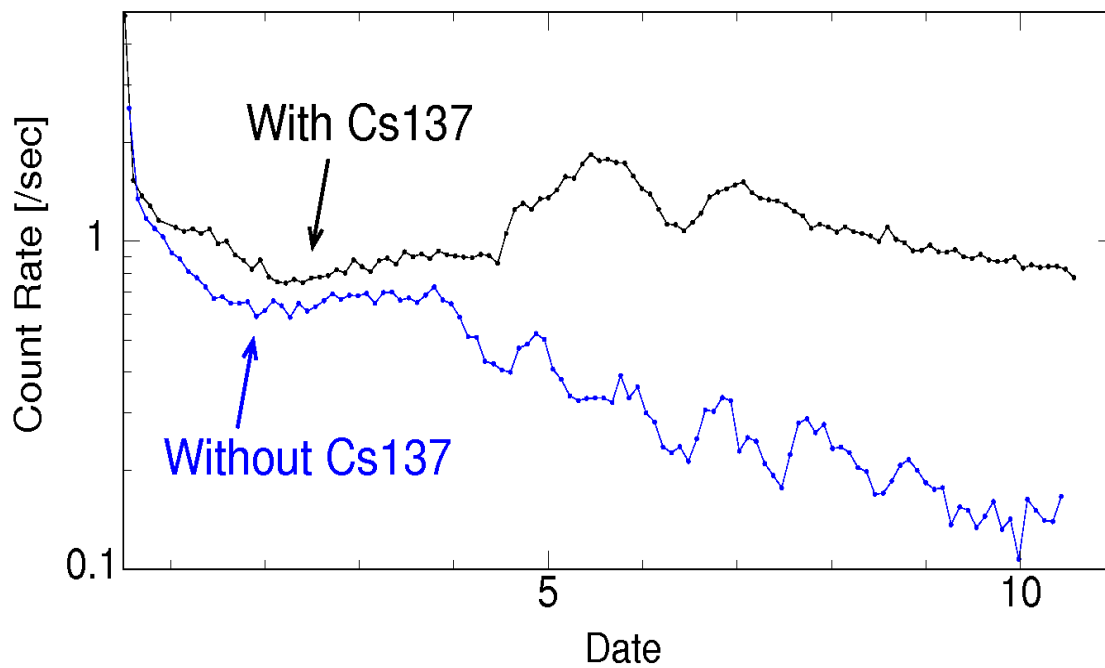
バイオフォトンを検出することが出来たので、低線量被ばくの影響をみる試料をキュウリに決定し研究を進めていく。

4.6　Cs137 を計測

Cs137 から光が検出されないこと確認するために、18 時間計測をした。
計測結果がグラフ 6 であり、30 分平均してプロットした。

グラフ 6 ：Cs137

グラフ 6 から分かるように open と close の差分は 0.05 以下の光電子のレベルであり、Cs137 からは光電子が検出されないことが確認できた。

4.7　キュウリとCs137の計測

キュウリとCs137を一緒に置いて計測していく。キュウリの厚さは2[cm]、キュウリと光電子増倍管の間は4[cm]、キュウリとCs137の間は3[cm]にセットし10日間測定した。

測定結果がグラフ7であり、2時間平均してプロットした。

グラフ7 ：キュウリとCs137

青い線がキュウリのみのとき、黒い線がキュウリと Cs137 を一緒に入れたときである。測定開始から 4 日目あたりまでは、どちらも光電子数は同じように減少している。4 日目を過ぎたころから、Cs137 を一緒に入れた方は光電子数が増加し始める。低線量被ばくによる影響なのかは断定できない。

4.8　キュウリの重さ

キュウリの厚さが 1[mm]、2.5[mm]、5.0[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、30[mm]であるときの重さをそれぞれ測定した。結果が表 1 である。

キュウリの厚さ[mm]	キュウリの重さ[g]
1.0	1.158
2.5	1.580
5.0	2.58
10	4.718
15	7.264
20	10.433
25	13.973
30	17.290

表１：きゅうりの重さ

4.9　Cs137 の計数値

スタンドの棚板に Cs137 をおき、計数値を測った結果が表 2 である。

Cs137 から GM 管の窓までの距離[mm]	計数値
なにも入れていない	28
30	2052
40	1287
60	597
80	335
100	233
120	184

表２:Cs137 の計数値

キュウリ(厚さ 1[mm]、2.5[mm]、5.0[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、30[mm])と Cs137 を直接重ねて置いて計測した。計数値の結果が表 3 である。

キュウリの厚さ[mm]	1 回目	2 回目	3 回目
1.0	97	80	101
2.5	79	108	85
5.0	78	91	97
10	67	55	88
15	82	70	84
20	70	73	72
25	77	70	78
30	69	77	61

表３：キュウリと Cs137 の計数値

1[mm]の厚さでもβ線はキュウリの表面で止まっていることがわかる。

５：解析方法

本研究で使用した Cs137 からは、1 年間に何 mSv 出ているかを算出する。
まず、①式よりβ線の放出率を計算する。

$$Re=cps\times S/a\times 0.9 \quad \cdots①$$

Re:β線の放出率
cps:Cs137 から 1 秒間に出ている放射線量のカウント数[/s]
S:球の表面積[mm^2]
a:GM 管の窓の面積　a=63.6[mm^2]

Cs137 から出ているγ線の量は 10%程度なので、0.9 を掛けることでβ線のみの放出率を出すことが出来る。算出したβ線の放出率はβ線の崩壊率[Bq]とし、表 4 に表す。

Cs137からGM管の窓までの距離[mm]	β線の崩壊率[Bq]
30	6081.649175
40	6781.098105
60	7077.474771
80	7060.350785
100	7672.862561
120	8725.32903

表４：β線の崩壊率

β線の崩壊率は平均すると 7000[Bq]程である。次に②式と③式を用いて、Bq を Sv に換算していく。

$$I = \eta P/4\pi r^2 \quad \cdots ②$$

I:流束[Bq/m^2]
η:放出効率　(β線=1　γ線=0.85)
P:崩壊率　P=7000[Bq]
$4\pi r^2$:球の表面積

$$\varepsilon = e\zeta I \quad \cdots ③$$

ε:等価線量[Sv/s]
I:流束[Bq/m^2]
e:β線、γ線のエネルギー　(β線=1.2[MeV]　γ線=0.66[MeV])
ζ:吸収線量率　(β線=1　γ線=3.3×10^{-3}[m^2/kg])

値を代入し計算すると、Cs137 から出ているγ線は 570[mSv/y]であった。これは、避難指示の基準となっている 20[mSv/y]の 30 倍もの値であり、低線量被ばくの影響を十分に確認することができる値であると言える。

６：考察

今回の研究では、Cs137による低線量被ばくの影響かは分からなかった。キュウリとCs137を一緒に暗箱に入れて計測したとき、バイオフォトンが増加した可能性として次のように考える。
測定開始のころは、キュウリには十分な水分がありβ線はキュウリの表面で止まっていた。時間が経ちキュウリが乾燥していくにつれ、止まっていたβ線が通過できるようになり、それがチェレンコフ光となり検出されたのかもしれない。他にも、個体差や温度の影響なども考えられる。生物なので周りの環境に敏感であり、放射線の影響なのかを断定するには、環境を整えることや、実験を何度か繰り返すことが必要になると考える。

７：参考文献

1,http://www.tohtech.ac.jp/~elecs/ca/kobayashilab_hp/Biophoton.html
2 http://speed.sii.co.jp/pub/segg/hp/prod_detail.jsp?mcatID=329&sbIcatID=435
3 浜松ホトニクス　電子式冷却装器(C10372) 取扱説明書
4 浜松ホトニクス　高電子増倍管(R694S) 取扱説明書
5 低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ　報告書

８：謝辞

本研究を進めるにあたり、宇宙粒子研究室の担当である山本 常夏准教授に貴重なお時間、低線量被ばくに関する様々な助言、そしてご指導いただき感謝したします。
また、他の四回生や大学院の方々にも力を借りてこの論文が完成致しました。この場をお借りしてお礼を申し上げます。